

G

X

高等学校系列教材

物理学

熊建平 杨宝元 主编

冶金工业出版社

J

C

PDG

高等学校系列教材

物 理 学

主 编 熊建平 杨宝元
副主编 肖放鸣 贾孟北 刘万君
编 委 孙皆宜 吴应坤 郭少英
康 勇 李志民

北 京

冶金工业出版社

1996

(流通)

图书在版编目(CIP)数据

物理学/熊建平,杨宝元主编.-北京:冶金工业出版社,1996.12

ISBN 7-5024-1887-3

I. 物… II. ①熊… ②杨… III. 物理学-高等院校-教材 IV. 04

·中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 10113 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

河北省遵化市今日印业有限公司;冶金工业出版社发行

1996 年 12 月第 1 版,1999 年 12 月第 2 次印刷

787mm×1092mm 1/16;25 印张;608 千字;392 页;4001-6000 册

27.5 元

P2PP4S0A

前 言

为了适应专科学校物理课程教学改革的需要,我们根据国家教委对“高等工程专科学校物理课程基本要求”,编写了《物理学》。本书内容能满足各专业对物理学的基本要求,在保证物理学内容的系统性、科学性、先进性的基础上,更新和精选了内容,强调了基本理论,注意了在工程技术上的应用,增加了思考与练习,突出了科学素质和分析问题能力的培养,提示学习方法,有利于自学能力的提高。

本书力求内容精练,避免重复,深度与广度适当,物理概念清晰,数学推导适当从简,对新技术应用适当作了介绍,有些章节前加了*号,教学中可酌情处理。本书教学时数约60~80学时。

本书由海南大学熊建平、唐山高等专科学校杨宝元任主编。参加编写的有:唐山高等专科学校杨宝元、刘万君、孙皆宜,海南大学熊建平,湖南省电子职工大学肖放鸣,山西长治职工大学贾孟北,华南理工大学吴应坤,邯郸大学郭少英,包头市职工大学康勇,洛阳大学李志民。杨宝元负责统稿,熊建平提出了修改意见并审定了全书。

本书是华北高等职业教育组编的“高等学校系列教材”之一。编辑部安树一在组编、排校、印发等当面做了许多工作。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免有错误或不当之处,敬请读者及有关专家批评指正。

编 者

1996年2月

本书第2次重印时由海南大学熊建平教授负责对全书再次进行了校正。

1999年12月

内 容 提 要

本书是为一般高等工程院校有关专业编写的基础教材。考虑到专业需要,学生的知识基础和接受能力,精选了内容,在广度和深度上都注意了适度。注重基本理论的掌握和基本技能的培养,在讲解上力求概念的准确清晰,数学推导适当从简,避免内容的重复。为了培养学生自学和分析问题的能力,每节前提示学习要点,节后还配有相当数量的思考题和习题。

本书也可供职工大学、广播电视大学、函授大学有关专业教学使用,还可供有关人员自学或参考。

目 录

绪论	(1)
第一章 质点运动学	(4)
第一节 运动描述的相对性	(4)
第二节 描述质点运动的基本物理量	(5)
第三节 直线运动和抛体运动	(11)
第四节 圆周运动	(19)
* 第五节 相对运动	(23)
思考题	(25)
习题	(26)
第二章 质点动力学	(28)
第一节 牛顿运动定律	(36)
第二节 功 动能 动能定理	(40)
第三节 势能	(42)
第四节 功能原理 机械能守恒定律	(47)
第五节 冲量 动量 动量定理	(52)
第六节 动量守恒定律 碰撞	(59)
思考题	(59)
习题	(59)
第三章 刚体的定轴转动	(64)
第一节 刚体的定轴转动	(64)
第二节 力矩 转动定律 转动惯量	(66)
第三节 力矩的功 刚体定轴转动的动能定理	(72)
第四节 角动量定理 角动量守恒定律	(75)
思考题	(78)
习题	(78)
第四章 分子物理学	(80)
第一节 理想气体状态方程	(80)
第二节 理想气体的压强 温度和内能	(85)
第三节 麦克斯韦速率分布	(93)
思考题	(99)
习题	(100)
第五章 热力学基础	(102)
第一节 热力学第一定律	(102)
第二节 热力学第一定律的应用	(105)

第三节	循环过程	(113)
第四节	热力学第二定律	(118)
	思考题	(122)
	习题	(123)
第六章	静电场	(125)
第一节	电荷 库仑定律	(125)
第二节	电场 电场强度	(127)
第三节	高斯定理	(132)
第四节	静电场的功 电势	(139)
第五节	等势面 场强与电势的关系	(145)
第六节	静电场中的导体	(147)
第七节	静电场中的电介质	(151)
第八节	电容器	(155)
第九节	电场的能量	(158)
	思考题	(160)
	习题	(161)
第七章	稳恒磁场	(165)
第一节	磁感应强度 磁场的高斯定理	(165)
第二节	毕奥—萨伐尔定律及其应用	(169)
第三节	安培环路定律	(173)
第四节	磁场中运动的带电粒子	(177)
第五节	磁场对载流导体的作用	(180)
第六节	磁介质中的磁场	(184)
	思考题	(190)
	习题	(191)
第八章	电磁感应	(196)
第一节	电磁感应现象	(196)
第二节	动生电动势 感生电动势和涡旋电场	(200)
第三节	自感和互感	(204)
第四节	磁场能量	(207)
第五节	位移电流	(209)
第六节	麦克斯韦方程组的积分形式	(212)
	思考题	(214)
	习题	(216)
第九章	简谐振动	(220)
第一节	简谐振动的特征及其运动规律	(220)
第二节	简谐振动的矢量图示法 相位差	(227)
第三节	简谐振动的能量	(233)
第四节	简谐振动的合成	(237)

思考题	(243)
习题	(245)
第十章 平面简谐波	(248)
第一节 波动的基本概念	(248)
第二节 平面简谐波的波动方程	(252)
第三节 平面简谐波的能量传播	(256)
第四节 电磁波	(260)
第五节 惠更斯原理	(265)
第六节 波的迭加	(267)
思考题	(275)
习题	(276)
第十一章 光的干涉	(278)
第一节 光的相干性 获得相干光的方法	(278)
第二节 薄膜干涉	(281)
* 第三节 迈克尔逊干涉仪	(288)
思考题	(290)
习题	(291)
第十二章 光的衍射	(293)
第一节 光的衍射现象 惠更斯—菲涅耳原理	(293)
第二节 单缝衍射	(294)
第三节 圆孔衍射 光学仪器分辨率	(298)
第四节 衍射光栅	(300)
* 第五节 伦琴射线的衍射	(304)
思考题	(305)
习题	(306)
第十三章 光的偏振	(307)
第一节 自然光和偏振光	(307)
第二节 反射和折射时光的偏振 双折射现象	(310)
第三节 偏振光的干涉	(312)
思考题	(313)
习题	(314)
* 第十四章 狭义相对论基础	(315)
第一节 经典力学时空观	(315)
第二节 狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换	(317)
第三节 狭义相对论的长度和时间	(319)
第四节 相对论速度变换公式	(322)
第五节 相对论动力学基础	(323)
思考题	(328)
习题	(329)

* 第十五章 量子力学基础	(330)
第一节 量子论的起源	(330)
第二节 光的量子性	(332)
第三节 波粒二象性	(335)
第四节 氢原子的玻尔模型	(336)
第五节 测不准关系	(340)
第六节 波函数和薛定谔方程	(341)
思考题	(345)
习题	(346)
第十六章 新技术物理基础	(348)
第一节 激光	(348)
第二节 等离子体	(352)
第三节 超导电性	(360)
第四节 传感器	(368)
附录	(376)
附录 I 矢量	(376)
附录 II 国际单位制	(380)
附录 III 常用物理基本常数表	(382)
附录 IV 常用数学公式	(383)
习题答案	(385)

绪 论

一、物理学研究对象

物理学是研究物质运动的基本规律、物质的基本结构和物质相互作用的学科。它是除数学以外的一切自然科学的基础,也是工程技术的基础。

自然界是由各种各样的物质组成的。我们周围所有的客观实在,大到日月星辰,小到分子、原子乃至原子核、质子、中子、电子、光子等等都是物质。实物和场是物质存在的两种基本形式。实物是由大量原子、分子所组成的客观实体,也包括原子、分子、离子和静止质量不为零的基本粒子。场是物质存在的另一种形式,是客观实在。例如,电场、磁场和引力场等等。

一切物质都在永恒不息地运动着,自然界的一切现象就是物质运动的表现。运动是物质的存在形式,也是物质的固有属性,它包括自然界所发生的一切变化过程。例如,物体的位置变化、能量辐射、化学反应、生命过程、宇宙的演变、人类的思维……等等都是运动。各种不同的物质运动形式既遵从普遍规律,也要遵从各自的独特规律。我们对物质的认识就是通过对它运动规律的研究来实现的。物理学所研究的是物质最基本、最普遍的运动形式,包括机械运动、热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动。根据这些运动形式,物理学包括力学、热学、电磁学、原子和原子核物理等各个分支。物理学所研究的运动,普遍存在于其他较高级、较复杂的运动形式之中。因此,物理学所研究的物质运动规律具有极大的普遍性。

物质与运动是不可分割的,不同的物质结构有不同的运动规律,物质运动的变化依赖于物质间的相互作用。因此,物质的基本结构和物质间的相互作用也是物理学的研究对象。

表 0-1 物质世界的层次

层次名称		空间尺度数量级 m	质量数量级 kg	相关的专门学科分支
宇观世界	宇宙半径	10^{26} (已知部分)	10^{55}	宇宙学
	银河星系	10^{23}	10^{40}	
	星 系	10^{20}		天文学
	星 球	$10^7 \sim 10^{12}$	10^{30} (太阳)	天体物理学
宏观世界	地 球	10^7	10^{24}	地质学, 地球物理学
	地上的物体 (包括动植物)	$10^{-7} \sim 10^5$	10^2 (人)	生物学, 生物物理学
	气 体			空气动力学
	液 体			液体动力学
微观世界	固 体			固体物理学
				凝 聚 态
	巨大分子	10^{-7}		生物化学, 化学物理, 高分子化学
	分 子	10^{-9}	10^{-26}	化学
	原 子	10^{-10}	(氧分子)	分子物理学
	原子核	10^{-14}		原子物理学
	基本粒子	10^{-15} 以下		核物理学
			10^{-30} (电子)	粒子物理学

从物质的线度来看,自然界中的物质,有小到亚原子的基本粒子,其大小在 10^{-15}m 以下,有大到星系团的集合(即宇宙的已知部分),其大小在 10^{26}m 以上,两者相差达 10^{41} 倍。表 0-1 清楚地表明了物质世界的层次及相关的学科分支。从表中可以看到:物质世界的好些层

次的研究是属于物理学的范畴,而另一些层次的相关学科则属于物理学的分支,或是物理学与其他学科交叉的边缘学科,可见物理学研究范围之广阔,影响、渗透之深远。

物质间的基本相互作用可归纳为四种:

(1)万有引力相互作用。任何两个物体之间都有万有引力相互作用。万有引力的作用距离大,故称为长程力。通常物体之间的万有引力极微弱,但在天体运动中,由于天体质量大,它起支配作用。

(2)电磁相互作用。存在于电荷之间、电磁场之间的相互作用,无论在微观世界或宏观世界中都起着重要作用。在原子和分子中,电磁相互作用起支配作用。在力学中常遇到的弹性力、正压力、张力、摩擦力等,均起源于分子间或原子间的相互作用。电磁力是长程力。

(3)强相互作用。存在于核子(质子、中子)之间的相互作用。强相互作用是短程力;当两个核子之间的距离为 $10^{-14}\text{m} \sim 10^{-15}\text{m}$ 时,它为强大的引力;当核子间的距离小于 10^{-16}m 时,它变为强大的斥力。在原子核内,强相互作用起主要作用。

(4)弱相互作用。存在于一切基本粒子之间,其力程小于 10^{-17}m ,而且作用很弱,常被强相互作用和电磁相互作用所掩盖。

表 0-2 列出四种相互作用的相对强度。

表 0-2 四种相互作用的相对强度

作用种类	强相互作用	电磁相互作用	弱相互作用	万有引力
相对强度	10^2	1	10^{-11}	10^{-39}
力程/m	10^{-15}	长程	$<10^{-17}$	长程

二、物理学的研究方法

实践——理论——实践是一切科学的认识法则,物理学也遵从这一法则。

物理学的研究首先来源于实践,即从自然现象中、生产实践中和科学实验中发现问题和提出问题。问题激发人们去研究,去再观察,去做实验。观察和实验是物理学的重要手段之一。观察是对自然界中发生的现象加以观察研究。实验是在人工控制的条件下,对某一现象进行反复观测研究。在实验中,常把复杂的条件加以简化,突出主要因素,排除或减低次要因素的作用,这是非常重要的研究方法。为此,需要对研究对象作科学的抽象,即根据问题的内容和性质,抓住主要因素,撇开次要的、局部的和偶然的因素,建立一个物理模型进行研究。例如,质点、刚体都是物理模型。在实验基础上对实验数据进行分析、概括和思辨,运用归纳法推出论断或提出假说。论断与假说是否有价值要经过实验检验,不完善的或与实验完全不符合的,自然被修改或被淘汰,如果论断和假说经受检验则上升为理论(包括定律)。定律和理论建立之后还继续接受实验的检验。

物理学是定量的科学,在物理研究中广泛使用数学。数学为物理学提供定量表示和预言能力,数学的抽象逻辑结构是模拟物理现实的有力工具,是揭示物质运动规律的有效手段。这就是物理学研究方法中的数学化原理。

物理定律是指实验定律,是用来说明某些物理量之间的关系,或说明某些现象之间的相互联系。物理理论是通过在一定范围内相互关联的现象的研究所建立起来的定律,加以更高度的、更系统化的概括,得到更高层次的知识体系,这是具有支配地位的规律性的知识体系。理论的价值在于包含了具有支配地位的规律性,它不仅不仅可以解释该范围内的各种现象,还可

以预言尚未发现的新现象,指导进一步的新的探索。例如,麦克斯威电磁场理论,不仅能解释各种电和磁的现象,而且预言了电磁波的存在及其传播速度,最终为实验所证实。

物理定律和理论来自科学实验和生产实践,并在科学实验和生产实践中经受考验、得到发展。必须指出,任何科学实验都要受到实验条件、仪器精密程度以及操作技术等限制,所以由此得出的物理定律和理论也总有它一定的近似性和局限性,但是它们在一定程度上是能够近似程度很高地反映客观实际。在物理学发展过程中,对在某个具体领域中已被确定的理论,在新的、更加普遍的理论出现时,不是作为错误的东西被抛弃,而是作为新理论的极限形式和特殊情况而保持自己的意义(例如,相对论建立以后,牛顿力学作为相对论在物体速度远小于光速时的特殊情况),这就是物理学研究方法中的对应原理。

按照辩证唯物主义观点,事物总是不断发展的,物理学和其他科学一样也总是不断发展的,发展是无止境的。物理定律和理论都是相对真理,新的物理事实被发现,新的物理定律和理论也将被建立。

三、物理学与科学技术、生产实践的关系

物理学的发展与科学技术、生产实践密切相关。生产发展的客观需要是物理学发展的强大动力,而物理学的研究又有力地推动科学技术和社会生产力的发展。

物理学的发展已经经历了三次大突破。在 17、18 世纪,由于牛顿力学体系的建立和热力学的发展,有力地推动了其他学科的发展,促进了蒸汽机的发明和机械工业的发展,引起了第一次工业革命,极大地改变了工业生产的面貌。到了 19 世纪,在法拉第、麦克斯威电磁理论的推动下,成功地制造了电机、电器和各种电讯设备,引起了工业电气化,这就是第二次工业革命。特别是在 20 世纪初期,由于相对论和量子力学的建立,人们对物质的认识深入到原子和原子核内部,从而发展了原子能的应用。到了 20 世纪 60 年代,由于量子力学在微观领域的成就,直接促进半导体、激光等新技术的发明。许多边缘学科发展起来了,以新材料、新技术、新工艺为标志的新兴工业不断涌现,人类进入了原子能、电子计算机、自动化、半导体、激光、空间技术等新技术的时代,这就是第三次工业革命。事实证明,物理学是整个自然科学的基础,物理学理论的任何重大突破,都将为生产和技术带来巨大的进步。

生产和技术的发展,不仅向物理学提出了新的课题,同时又为物理学的研究提供更先进的实验设备和更精湛的研究手段,促进了物理学的发展。正如杨振宁教授说的:“物理学和技术的发展是一个循环,物理学的发展引导出来了新的技术……而技术反过来又影响了物理学自己的发展。”

在过去的岁月中,科学技术的发展是以物理学为基础,而在即将到来的新世纪中,在世界范围内,一场新的科学技术革命正在兴起。科学和技术的大发展,将是未来世界发展的大趋势。在这一进程中,物理学将会继续起巨大作用,物理学和科学技术、生产实践的关系也将日趋密切。

物理学是工科各专业的重要的基础课程。学生应该掌握物理学的基本理论、基本知识以及研究问题的方法,提高科学素质,自学能力、运算能力以及分析问题和解决问题的能力,为今后学习专业知识和从事专业工作打下必要的物理基础。

第一章 质点运动学

自然界是由物质组成的,一切物质都处在永恒的运动之中。在自然界中,物质运动的形式是多种多样的,机械运动则是最简单、最普遍的运动形式。一个物体相对于另一个物体或一个物体的一部分相对于其他部分的位置变化过程,称为机械运动。天体的运行,机器的运转,河水的流动,声波的传播等等都是机械运动,它们都遵循一定的客观规律。物理学中研究机械运动的规律及其应用的部分称为力学。

力学在现代工程技术中有广泛的应用。楼房、桥梁的设计,汽车、火车及各种机器的制造,人造卫星和宇宙火箭的发射,都要以力学作指导。此外,比较高级、复杂的物质运动通常都含有机械运动。所以学习力学的基本原理对于研究物理学的其他部分,以及其他自然科学都有重要意义。

力学可分为运动学、动力学和静力学。运动学研究物体在运动过程中位置随时间变化的规律;动力学研究物体间的相互作用及这种相互作用引起的物体运动状态变化的规律;静力学研究物体在相互作用下的平衡问题,也可把它看作是动力学的特殊情况。

本章主要介绍如何描述机械运动和几种简单的质点运动的规律。重点讨论位移、速度和加速度等基本概念,加深对运动的矢量性、瞬时性、相对性等基本性质的了解。

第一节 运动描述的相对性

学习要点:

1. 运动是绝对的,运动的描述是相对的。
2. 描述一个物体的机械运动,首先要选定参照系,并在参照系上建立适当的坐标系。
3. 为了更好地描述物体的机械运动,提出一个理想化的模型——质点。质点是指忽略物体的形状和大小而具有一定质量的点。

一、参照系和坐标系

自然界中的一切物体都在运动,大到星球,小到分子、原子、电子等,都在不停地运动。房屋、桥梁看起来是静止的,但是它们都在地球上,而地球不仅在自转,而且以 30 千米/秒的速率绕太阳公转。太阳则以 250 千米/秒的速率绕银河系的中心旋转,银河系在总星系中旋转,总星系又在宇宙中运动。无论从机械运动,还是从其他运动形式来说,自然界中的一切物体都在不停地运动着,这叫做运动的绝对性。

要描述一个物体的机械运动,总得选择另一个物体作为参考,然后研究这个物体相对于参考物是如何运动的。被选作参考的物体称为**参照系**。

参照系如何选择,主要看问题的性质和研究的方便来定。例如,一个星际火箭在刚发射时,主要研究它相对于地面的运动,所以就把地面选作为参照系。但是当火箭进入绕太阳运行的轨道时,为研究方便起见,就要选太阳作参照系。

同一物体的运动,选取不同的参照系,对它的运动的描述就不相同。例如,一辆汽车沿着

公路由西向东行驶,以这辆汽车为参照系,在车上坐着的乘客是静止的;以路边的房子为参照系,乘客是由西向东运动的;以另一辆速度更快且同向行驶的汽车为参照系,乘客是由东向西运动的。可见,相对于不同的参照系,物体运动的描述是不同的,这称为运动描述的相对性。因此,当我们研究物体运动时,必须指明这种运动是相对于哪个参照系来说的,否则就无法确定物体的运动情况。在今后的讲述中,如果不作特别说明,就是以地面作为参照系。

为了定量描述物体相对参照系的位置,必须在参照系上建立适当的坐标系。通常在参照系上选定一点作为坐标系的原点,取通过原点并附有标度的有向线段为坐标轴,构成坐标系。如研究物体沿直线运动时,可用直线坐标系来确定物体在各时刻的位置;研究物体在平面上的运动时,可用平面直角坐标系来确定物体在各时刻的位置,如图 1-1(a)、(b)所示。

二、质点

质点是指具有一定质量而不考虑其大小和形状的理想物体。

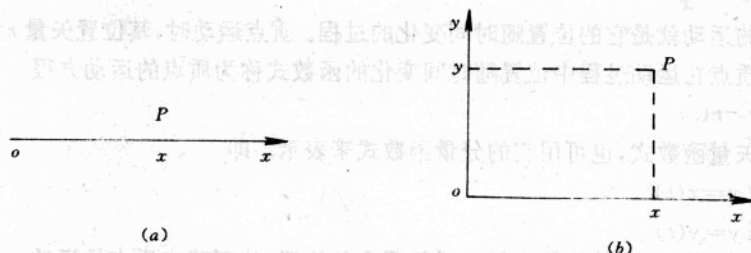


图 1-1 平面直角坐标系

任何物体都具有一定的形状和大小,在运动时,物体上各点的运动情况一般是各不相同的,要精确描述物体各部分的运动,不是一件简单的事情。但是,在许多情况下,物体的形状和大小与所研究的问题关系很小,可以忽略,这时我们可以把物体当作质点来处理。例如,地球一方面绕太阳公转,另一方面又绕地轴自转,地球上各点的运动情况是不相同的。由于地球到太阳的距离约为地球直径的一万多倍,地球上各点相对于太阳的运动基本上可看作相同,所以在研究地球公转时,可忽略其形状和大小而把它看作质点。但是当研究地球的自转或地壳运动时,显然就不能把地球看作质点了。由此可见,一个物体是否可抽象为质点,应根据问题的性质而定。本书的一、二章中,我们把物体都当作质点。

研究质点还有更普遍的意义。当我们进一步研究物体运动时,常把物体看成是由无数个质点所组成,通过分析这些质点的运动,便可弄清楚整个物体的运动。所以研究质点运动是研究物体运动的基础。质点是物理学中一个很重要的物理模型。

第二节 描述质点运动的基本物理量

学习要点:

1. 掌握附录 1 中矢量及其运算。
2. 掌握位置矢量、位移、速度、加速度的定义及相互关系和它们在描述质点运动中所起的作用。

3. 运动方程的函义及其用处。

为简单起见,我们讨论质点在一平面上运动的情况(很容易推广到空间运动)。

一、位置矢量

设质点在一平面上运动,为了定量地描写质点的位置,在这平面上确立一个直角坐标系 $o-xy$,如图 1-2 所示。质点 P 的位置可以用从原点 o 到 P 点的有向线段 r (即图中的 $\overrightarrow{OP}$)来表示,矢量 r 叫做质点 P 的位置矢量,也叫矢径。矢径 r 在 ox 轴和 oy 轴上的投影分别为 x 和 y 。位置矢量可表示为:

$$r = xi + yj \quad (1-1)$$

式中 i, j 分别为沿 x, y 轴的单位矢量,位置矢量的大小为

$$r = |r| = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1-2)$$

位置矢量 r 的方向可以用它与 x 轴的夹角 α 来表示,即

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{x} \quad (1-3)$$

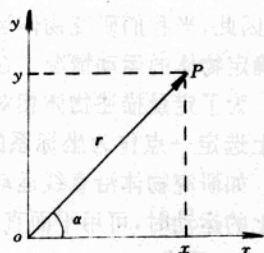


图 1-2 位置矢量

质点的运动就是它的位置随时间变化的过程。质点运动时,其位置矢量 r 是时间 t 的函数。表示质点在运动过程中位置随时间变化的函数式称为质点的运动方程。可写为:

$$r = r(t) \quad (1-4)$$

这是一个矢量函数式,也可用它的分量函数式来表示。即

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases} \quad (1-5)$$

知道了运动方程,就能确定任一时刻质点的位置,从而确定质点的运动。寻找出质点的运动方程是力学的主要任务之一。

质点运动经过的路径称为轨道。从(1-5)式消去时间 t ,就可得到质点运动的轨道方程。

例如,一质点的运动方程为:

$$r = a \cos \omega t i + b \sin \omega t j$$

其中 a, b 和 ω 为大于零的常数。其分量式为:

$$\begin{cases} x = a \cos \omega t \\ y = b \sin \omega t \end{cases}$$

由分量式消去 t 就得到轨道方程:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

这是在 xoy 平面内的一个椭圆。

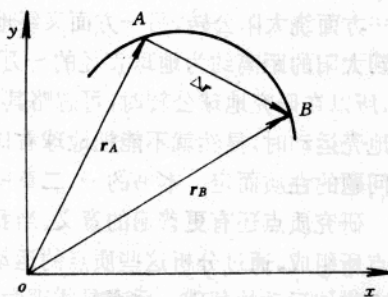


图 1-3 位移

位移是描写质点位置变化的大小和方向的物理

量。如图 1-3 所示,在时刻 t ,质点位于 A 点,矢径为 $r_A = r(t)$,在时刻 $t + \Delta t$,质点运动到 B 点处,矢径为 $r_B = r(t + \Delta t)$ 。在 Δt 时间内,质点的位置变化可用 A 到 B 的有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 来表示,称为质点在 Δt 时间内的位移。且

$$\overrightarrow{AB} = r_B - r_A = r(t + \Delta t) - r(t) = \Delta r \quad (1-6)$$

Δr 表示矢径 r 在 Δt 时间内的增量。

在直角坐标系中

$$r_A = r(t) = x(t)i + y(t)j$$

$$r_B = r(t + \Delta t) = x(t + \Delta t)i + y(t + \Delta t)j$$

$$\begin{aligned}
 \Delta \mathbf{r} &= \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t) \\
 &= [x(t + \Delta t) - x(t)]\mathbf{i} + [y(t + \Delta t) - y(t)]\mathbf{j} \\
 &= \Delta x \mathbf{i} + \Delta y \mathbf{j}
 \end{aligned} \tag{1-7}$$

位移是矢量,它的大小表示末位置与初位置的距离,它的方向表示末位置相对于初位置的方位。由上式可得, $\Delta \mathbf{r}$ 的大小为

$$\Delta r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \tag{1-8}$$

$\Delta \mathbf{r}$ 的方向可用 $\Delta \mathbf{r}$ 与 x 轴的夹角 θ 来表示:

$$\tan \theta = \frac{\Delta y}{\Delta x} \tag{1-9}$$

必须注意,位移并不是质点运动所经历的路程,位移是指质点位置的改变,而路程是指质点沿运动轨道所经过曲线的长度。在图 1-3 中,位移是有向线段 $\overrightarrow{AB}$,是个矢量,它的量值 $|\Delta \mathbf{r}|$ 是割线 AB 的长度;而路程是曲线 AB 的长度 Δs ,这是一个标量,显然 $|\Delta \mathbf{r}|$ 和 Δs 并不相等。

位置矢量、位移和路程在量值上都表示长度,国际单位为米(m)。

三、速度

速度是描写质点运动的快慢和方向的物理量。如图 1-3 所示,质点从时刻 t 到时刻 $t + \Delta t$ 由 A 运动到 B 。在 Δt 时间内,质点的位移为 $\Delta \mathbf{r}$,那么 $\Delta \mathbf{r}$ 与 Δt 的比值称为质点在这段时间内的平均速度,记作 $\bar{\mathbf{v}}$ 。

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t)}{\Delta t} \tag{1-10}$$

平均速度是矢量,其大小为 $\frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t}$,其方向与位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向相同。平均速度(包括大小和方向)一般与所选取的时间间隔有关,所以说平均速度时,必须说明是哪一段时间内的平均速度。

平均速度只能对质点的运动情况作粗略的描述。为了更准确描述质点的运动状态,应使 Δt 尽量减小。当 Δt 趋于零时, $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 将趋于一个确定的极限,这个极限能准确反映质点在时刻 t 的运动情况。因此,当 Δt 趋于零时,平均速度 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 的极限就称为质点在时刻 t 的瞬时速度,简称为速度,用 $\mathbf{v}$ 表示。

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \tag{1-11}$$

如果知道质点的运动方程,就可以通过求一阶导数求得速度。在平面直角坐标系中,质点的运动方程为:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j}$$

$$\text{则 } \mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} = \frac{dx(t)}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy(t)}{dt}\mathbf{j} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} \tag{1-12}$$

速度 $\mathbf{v}$ 在两个坐标轴上的分量为

$$v_x = \frac{dx(t)}{dt}, v_y = \frac{dy(t)}{dt} \tag{1-13}$$

$\mathbf{v}$ 的大小为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \tag{1-14}$$

速度 $\mathbf{v}$ 的方向可用它与 x 轴的夹角 θ 来表示:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{v_y}{v_x} \quad (1-15)$$

速度的方向就是当 Δt 趋于零时, 平均速度 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 或位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向。见图 1-4, $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 的方向就是沿割线 AB 的方向。当 Δt 趋于零时, B 点趋近于 A 点, 割线 AB 的方向就趋近于 A 点的切线方向。所以质点速度的方向就是轨道上质点所在点的切线的方向。

在描述质点运动时, 也常用速率来描述质点运动的快慢。速率是个标量, 如图 1-3 所示, 在 Δt 时间内, 质点经过的路程为曲线 $\widehat{AB}$ 的长度 Δs , 比值 $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ 称为质点在 Δt 时间内的平均速率, 记作 $\bar{v}$ 。即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

当 Δt 趋于零时, 平均速率 $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ 的极限称为质点在 t 时刻的瞬时速率, 简称速率, 用 v 表示。即 $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$ (1-16)

在一般情况下, 路程并不等于位移的大小, 即在 Δt 时间内, $\Delta s \neq |\Delta \mathbf{r}|$, 因而 $\frac{\Delta s}{\Delta t} \neq \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t}$, 所以平均速率不等于平均速度的大小。但是当 Δt 趋于零时, 路程 Δs 与位移的大小 $|\Delta \mathbf{r}|$ 可以认为相等, 所以速率为:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t} = |\mathbf{v}|$$

即速率等于速度的大小。

速度和速率的国际单位为米/秒(m/s)。

四、加速度

质点在运动过程中, 一般说来, 各时刻速度的大小和方向是不相同的, 加速度就是描写

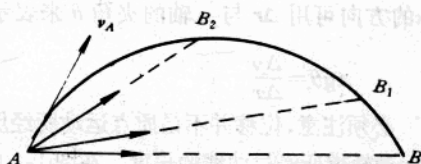


图 1-4 质点在 A 点处的速度沿着 A 点的切线方向

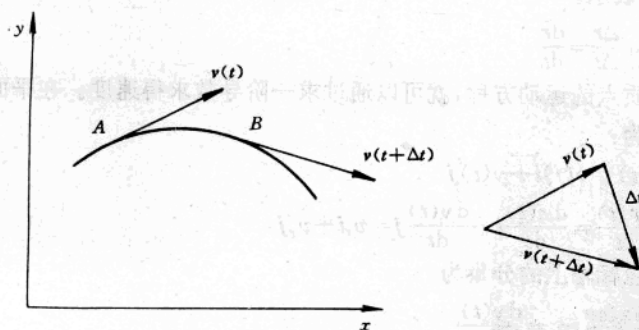


图 1-5 速度的增量

速度随时间变化的物理量。如图 1-5 所示, 设质点在时刻 t 、位置 A 处的速度为 $\mathbf{v}(t)$, 在时刻 $t + \Delta t$ 、位置 B 处的速度为 $\mathbf{v}(t + \Delta t)$ 。从速度矢量图可以看出, 在 Δt 时间内, 质点速度的增量